

**Ю.С. ЕЛИСЕЕВ**, д.т.н., проф., Генеральный директор ФГУП "ММПП "Салют"  
**В.И. ДЗЮБА**, Генеральный директор ЗАО "МСЗ-САЛЮТ"  
**П.П. БОНДАРЕНКО**, директор НПЦ "Машиностроитель" в ФГУП "ММПП "Салют"  
**В.А. ЯКОВЛЕВ**, Главный конструктор ФГУП "ММПП "Салют"  
**В.Л. ДОРОФЕЕВ**, д.т.н., проф., ведущий конструктор ФГУП "ММПП "Салют"

### **В ФГУП "ММПП "САЛЮТ" ГОТОВИТСЯ К ПРОИЗВОДСТВУ СТАНОК 5843Ф4 ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРОФИЛЬНЫМ КРУГОМ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ М.Л. НОВИКОВА**

Приведены технические характеристики станка 5843Ф4 для шлифования высокоточных зубчатых колес с зацеплением М.Л.Новикова 3÷4 степени точности. Описана система по назначению геометрических параметров зубчатых колес с зацеплением М.Л.Новикова. Приведены протоколы измерения зубчатых колес, изготовленных на станках ФГУП "ММПП "САЛЮТ" с профильной обработкой.

The paper considers technical data of 5843F4 machine for high-precision (3÷4 accuracy grade of gears) grinding of gears with Novikov mesh. System of geometrical dimensions setting for gears with Novikov mesh is described. The paper gives test record sheets for gears manufactured at FSUE MMPP Salut machines with profiled processing.

В 1998 году в составе научно-производственного центра газотурбостроения России – ФГУП "ММПП "Салют" организовано станкостроительное производство. Располагая мощной научной и производственной базой ФГУП "ММПП "Салют" разрабатывает и производит разнообразную высокотехнологическую продукцию от самых мощных в мире авиационных двигателей пятого поколения типа Д27 для самолетов АН-70 до прецизионных зубошлифовальных станков. После создания станкостроительного подразделения ФГУП "ММПП "Салют" стал единственным в России предприятием, которое разрабатывает и изготавливает различные типы зубошлифовальных станков. Это станки для шлифования колес 4-5 степени точности типа 5М841, 5843, которые широко применяются в станкостроении и железнодорожном машиностроении. Эти станки имеют специальную систему формообразования, применение которой позволяет изготавливать зубчатые передачи с существенно более низким шумом по сравнению со станками, имеющими например непрерывную систему формообразования. Завод изготавливает станки типа МШ350 и 5893 для шлифования долбяков, шеверов и измерительных зубчатых колес третьей степени точности – они применяются в инструментальной и станкостроительной промышленности. Выпускаются станки для шлифования протяжек и прошивок и зубчатых колес 3-4 степени точности типа МШ397. Кроме этого ФГУП "ММПП "Салют" выпускает кругло- и внутришлифовальные станки, а также специальные станки.

При разработке зубошлифовальных станков приходится учитывать тенденцию развития зубчатых передач. В прежние годы, например зубчатое зацепление М.Л. Новикова, рассматривалось как упрощенная замена эвольвентного зацепления, которое требует высокой точности изготовления. Общепринятым было утверждение о том, что зацепление М.Л. Новикова вполне работоспособно и при низкой точности изготовления и зубошлифование колес с зацеплением М.Л. Новикова не требуется. По этой причине разрабатывать зубошлифовальные станки, специально предназначенные для зацепления М.Л. Новикова, было не рентабельно.

В настоящее время в связи с ростом заказов машиностроителей на малозумные высокоточные зубчатые колеса для высокоскоростных и высоконагруженных передач возникла потребность разработать зубошлифовальные станки для закаленных колес с зацеплением М.Л. Новикова. Отличительной особенностью этих станков является компьютерное управление, встроенная измерительная система и гибкая система управления геометрией зубчатых колес. На станках нового типа, таких как **5843Ф4** можно обрабатывать не только колеса с зацеплением М.Л. Новикова, но и эвольвентные зубчатые колеса, колеса с продольной и профильной модификацией и другими типами зацеплений.

Таблица 1 – Технические характеристики станка **5843Ф4**

Наибольший диаметр, мм	1000
Наименьший диаметр, мм	40
Наибольший модуль, мм	12
Угол наклона зубьев, °	±35
Степень точности колес по ГОСТ 1643-81	3÷4

В станке 5843Ф4 применяется метод копирования, при котором шлифовальный круг профилируется по контуру зуба. Станок 5843Ф4 будет оснащен прецизионными измерительными и управляющими системами, выпускаемыми ведущими фирмами мира.

Как традиционные, так и современные системы обеспечения высокой точности зубошлифования предприятием были отработаны на станке 5А868Д. Например, после зубошлифования зубчатого колеса с внутренним зацеплением  $m=6$ ,  $z=75$  на станке 5А868Д, представленной на московской выставке Металлообработка 2008, погрешности не превышали 4 степени точности по ГОСТ 1643-87, а по большинству показателей точности соответствовали 1...2 степени точности. Таким образом, по ряду показателей точности зубошлифовальные станки ФГУП "ММПП "САЛЮТ" позволяли получить столь высокую точность, которая даже не нормируется ГОСТ 1643-81. См. таблицу.

Таблица 2 – Показатели точности станка 5А868Д

		Значение	Степень точности
Отклонение окружного шага, мкм	$f_p \max$	2.1	2
Разность соседних шагов, мкм	$f_u \max$	3.5	3
Накопленная погрешность шага, мкм	$F_p$	6.3	1
Накопленная погрешность шага на 8-и шагах, мкм	$F_{pz/8}$	4.8	1
Погрешность профиля, мкм	$F_\alpha$	4.6-5.5	4

Широкие возможности станка **5843Ф4** явились причиной появления некоторых проблем управления станком. Например, даже эвольвентные колеса могут быть нескольких типов: с симметричным профилем зубьев, с асимметричным профилем, с переходной кривой описанной окружностью, удлиненной эвольвентой, специальной кривой, колеса могут отличаться разной модификацией зубьев. Еще большим разнообразием отличаются колеса с зацеплением М.Л.Новикова: с исходным контуром по ГОСТ 15023-76, по ГОСТ 30224-96, РД2-Н24-11-88, РГУ-1, ДЛЗ-0,7-0,15, ДЛЗ-1,0-0,15 и др. Реализация всех типов цилиндрических зубчатых колес, которые можно было бы шлифовать на станке, потребовала бы многих лет, поэтому в станке **5843Ф4** предполагается ввод данных с пульта управления станком или с внешнего компьютера. В первом случае оператор заполняет ряд меню с исходными данными (рисунок 1).

Во втором случае требуется расчет и ввод массива координат всех точек профиля как по высоте так и ширине зубьев.

Профиль зубьев с зацеплением М.Л. Новикова или иного незвольвентного – определяется построением по заданному исходному контуру, но для ввода в станок рассчитанные координаты должны быть преобразованы в согласованную с производителем станка систему отсчета координат.

Функционально линия профиля определяется как отображение множества значений расстояний от центра колеса до текущей точки во множество угловых отклонений точек профиля от номинальной линии.

Так, для точек профиля  $M$  и  $M_1$  аргументами функции незвольвентного профиля являются радиусы  $R$  и  $R_1$ , а значениями функции – углы  $\psi_0$  и  $\psi_1$  (рисунок 2).

Угловое отклонение точек профиля может измеряться от любой номинальной линии. В качестве номинальной линии используется эвольвента окружности. Но этот способ нельзя применять для колес с формой зуба, профиль которого которых пересекает вспомогательную основную окружность. В этом случае измерение выполняется от линии, составленной из прямой и эвольвенты.

Этот случай, показанный на рисунке 2, рассматривается ниже как основной.

$\alpha_P$	$\alpha_H$	<b>Модификация всего профиля:</b>	
25	25	Бочкообразность, мкм( $\pm Ca$ ):	1
$\beta^\circ$	+17 21'35"	Конусность, мкм( $\pm Ha$ на длине $L_c$ ):	2
$m$	2	Срез профиля головки, мкм Глубина, $Ca$ :	20
$z$	21 <input checked="" type="checkbox"/>	Тип: <input type="text" value="Круговой"/> Длина, мм ( $La$ ):	1
$x^*$	0	Срез профиля ножки, мкм Глубина, $Cf$ :	20
$c^*$	0.25	Тип: <input type="text" value="Круговой"/> Длина, мм ( $Lf$ ):	0.3
$ha^*$	1		
$hf^*$	1. <input type="checkbox"/>		
$hk^*$	0 <input type="checkbox"/>		
$b$	22		

Прип-к* под зуб.шлф	0.4		
$X_{pk}^*$	0		
$\Delta h^*$	0		

$\rho^*$	0.2	0.25
$\alpha^\circ$	15.231	27.233
$\alpha_s^\circ$	6	6
$\Delta^*$	0.02	0.02
$Dfu^*$	0	0

Рисунок 1 – Пример заполнения таблиц ввода данных в станок 5843Ф4

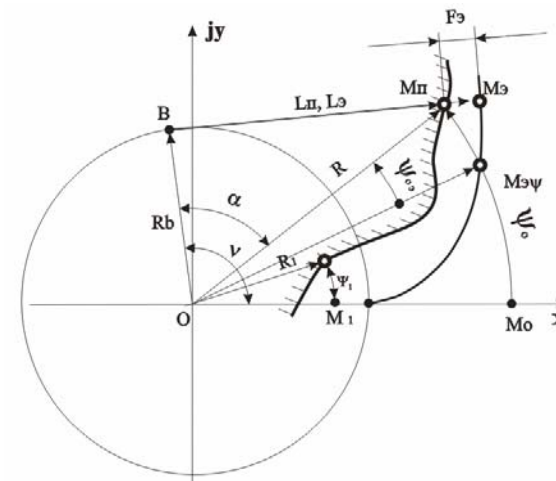


Рисунок 2 – Схема измерения отклонения профиля  $f: R \rightarrow (R - \text{независимая переменная функции отклонения профиля, } \Psi - \text{зависимая переменная})$

Если измерение выполняется на вспомогательном эвольвентном участке профиля на расстоянии  $R$  центра и при этом угол до точки касания равен  $\psi_0$ , то отклонение профиля в традиционной эвольвентной системе отсчета будет определяться по следующим (рисунок 2) по формулам:

$$F_3(v) = L_3 - L_n, \quad (1)$$

где  $L = R_b v$ ,  $v = \alpha + \psi_0$ ;  $\alpha = \arctg(L_n/R_b)$ ;  $L_n = \sqrt{R^2 - R_b^2}$ .

Здесь  $R_b$  – радиус вспомогательной основной окружности.

При выводе графика отклонения профиля

$$R \in (R_p \dots R_a),$$

где  $R_a$  – радиус окружности вершин,  $R_p$  – радиус нижних точек активного профиля.

При программировании станка решается обратная задача по заданным отклонениям профиля  $F_3$  и соответствующим углам развернутости  $v$  определяются радиусы точки профиля  $R$  и требуемая угловая координата  $\psi_0$ :

$$R = \sqrt{R_b^2 + (R_b * v - F_3)^2}, \quad \psi_0 = \alpha + v,$$

где  $\alpha$  определяется по формулам (1).

Координаты номинальной линии профиля, состоящей из комбинации прямой и эвольвенты, определяются вектор – функцией

$$\begin{aligned} R_\theta(v) &= R_b(1 - jv) \exp(jv), \text{ если } v \geq 0; \\ R_\theta(v) &= R_b \cos v, \text{ если } v < 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $v$  – аргумент вектор-функции номинальной линии;  $j$  – мнимая единица.

В общем случае для расчета координат действительного профиля применяется вектор- функция

$$R(v) = R_0(v) \exp(j\psi), \quad (3)$$

которая каждому значению аргумента ставит в соответствие проекции точки  $M$  на оси координат, выраженные комплексной функцией  $R(v)$ .

При использовании описанного метода данные в станок вводятся в компьютер станка из файла через USB порт.

ФГУП "ММПП "Салют" предлагает также **партнерские программы**, сущность которых в том, что каждый партнер может разработать самостоятельную программу, использовать её для автоматизации шлифования незвольвентных колес и самостоятельно продавать как коммерческий продукт, предлагая предприятиям, имеющим станки 5843Ф4 программы подготавливающие данные для того или иного исходного контура. В качестве примера на рисунке 3 приведен пример подготовки данных с помощью коммерческой программы AsGears, разработанной в ФГУП "ММПП "Салют".

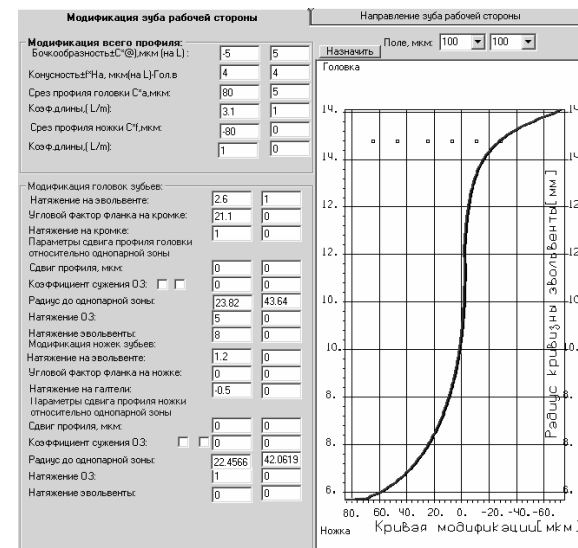


Рисунок 3 – Пример ввода данных в коммерческой программе AsGears

Поступила в редколлегию 10.04.09

УДК 620.178.16: 621.892

**А.В. ЗАХАРЧЕНКО**, ст. викл. каф. АТ ВМУРПол "Україна", м. Київ

## КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ В ТРИБОСПОЛУЧЕННЯХ ЯК ГОЛОВНИЙ ПАРАМЕТР ПРОЦЕСУ

На основании современных трибологических источников предлагается аналитический обзор путей решения проблемы выбора по коэффициенту трения в трибосопрежении смазочного материала, который соответствует конкретным условиям эксплуатации. Систематизированы требования для нахождения пороговых значений вида трения, который может быть охарактеризован определённым критерием, поддающимся численной оценке и есть необходимым для технической диагностики трансмиссионных масел.

On the basis of tribology sources the analytical review of the ways to resolve the problem of choice according to the friction constant in the tribolinkings of oil material appropriate for the specific conditions of operation is suggested. The requirements for detection of threshold valuations of the friction kind that is characterised with a definite criterion that is quantitatively assessed and needed for technical diagnostics of gear oils.

Інтелектуальна економіка і матеріальне виробництво тісно пов'язані з наявністю високих (критичних) технологій, створення яких здійснюється інтелектуальною частиною суспільства. Оскільки на світовому ринку високих